

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) CH 695 793 A5

(51) Int. Cl.: F23L 7/00 (2006.01)  
F23C 9/00 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENT SCHRIFT**

(21) Gesuchsnummer: 01808/01

(73) Inhaber:  
ALSTOM Technology Ltd, Brown Boveri Strasse 7  
5400 Baden (CH)

(22) Anmeldedatum: 01.10.2001

(24) Patent erteilt: 31.08.2006

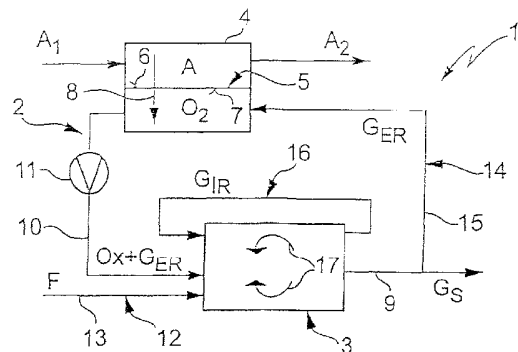
(72) Erfinder:  
Dr. Timothy Griffin, 5408 Ennetbaden (CH)  
Dr. Richard Carroni, 5443 Niederrohrdorf (CH)  
Dr. Elisabetta Carrea, 8044 Zürich (CH)

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.08.2006

(54) **Verbrennungsverfahren, insbesondere für Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, bei dem ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Brennstoff und im Wesentlichen stickstofffreien Inertgas gebildet und in einem Brenner (3) verbrannt wird.

Um auch bei einem relativ hohen Anteil an Inertgas eine stabile Verbrennung gewährleisten zu können, ist die Verbrennung als flammenlose Verbrennung ausgebildet.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verbrennungsverfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf eine Anlage, insbesondere Gasturbinenanlage, zur Durchführung derartiger Verbrennungsverfahren sowie auf eine besondere Verwendung eines mit flammenloser Verbrennung arbeitenden Verbrennungsverfahrens.

### Stand der Technik

[0002] Aus der WO 98/55 208 ist ein Verbrennungsverfahren für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme bekannt, bei dem ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Brennstoff und im Wesentlichen stickstofffreien Inertgas gebildet und in einem Brenner verbrannt wird. Das Inertgas wird dabei durch die Verbrennungsabgase des Brenners gebildet, wobei in diesem an sich stickstofffreien Abgas über den verbrannten Brennstoff durchaus vernachlässigbare parasitäre Stickstoffanteile enthalten sein können. Der Sauerstoff für das Gasgemisch wird dabei mit Hilfe einer Sauerstoff-Transport-Membran bereitgestellt, die an einer Sperrseite mit vorzugsweise erhitzter und komprimierter Luft beaufschlagt ist. Diese Membran entzieht an ihrer Sperrseite der dort vorhandenen Luft Sauerstoff, transportiert diesen an eine Durchgangsseite der Membran und setzt ihn dort frei.

[0003] Mit Hilfe eines Spülgases kann der Sauerstoff auf der Durchgangsseite abtransportiert werden. Zweckmässig wird als Spülgas das Verbrennungsabgas des Brenners verwendet, das durch eine Verbrennung mit Brennstoff zusätzlich erwärmt sein kann. Bestimmte Ausführungsformen derartiger Membranen sind als MCM-Membran (mixed conducting membrane) bekannt.

[0004] Bei einem derartigen Verbrennungsprozess ist – abgesehen von parasitären Stickstoffanteilen im Brennstoff – kein Stickstoff beteiligt, so dass die entstehenden Abgase im Wesentlichen nur CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O in Form von Wasserdampf enthalten. Durch Auskondensieren des Wasserdampfes kann das CO<sub>2</sub> separiert und relativ problemlos entsorgt werden. Da bei einem derartigen Verbrennungsprozess somit grundsätzlich keine schädlichen Emissionen anfallen, kann hier auch von einem Nullemissionsverfahren (zero emission process) gesprochen werden.

[0005] Um die Leistungsfähigkeit einer Sauerstoff-Transport-Membran zu steigern, ist ein relativ hoher Volumenstrom an Spülgas erforderlich. Bei diesen vorteilhaften grossen Spülgasmengen ergibt sich jedoch ein Abgas-Sauerstoff-Gemisch, dessen Sauerstoffanteil so gering ist, dass es nur noch sehr schwach reaktiv ist. Herkömmliche Verbrennungsverfahren, insbesondere mit Diffusionsflamme arbeitende Verbrennungsverfahren, sind nicht mehr anwendbar. Beispielsweise kann das Gasgemisch aus mit Spülgas verdünntem Sauerstoff und beigefügtem Brennstoff hinsichtlich seines Volumens wie folgt zusammengesetzt sein: 2,5% CH<sub>4</sub>, 5% O<sub>2</sub>, 27,5% CO<sub>2</sub>, 65% H<sub>2</sub>O. Die Temperatur dieses Gasgemischs beträgt üblicherweise zwischen 600 und 900° C. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich bei existierenden Magerformbrennern und katalytischen Brennern eine Reaktivität, die kleiner ist als bei sonst üblichen Brennstoff/Luft-Mischungen bei gleichen Temperaturen. Hierdurch kommt es zu hohen Zündverzugszeiten, zu einer reduzierten Flammengeschwindigkeit und zu engeren Magerlöschgrenzen. Darüber hinaus werden die Betriebsparameter auch dadurch verschlechtert, dass die erzielbare Temperatur der Verbrennungsgase deutlich reduziert ist und beispielsweise nur bei etwa 1200° C liegt. Aufgrund dieser Bedingungen können herkömmliche Verbrennungsverfahren nicht in zufriedenstellender Weise zu einer stabilen Verbrennung eines derart schwach reaktiven Gasgemischs verwendet werden.

[0006] Bei der Integration eines Brenners in einen Wärmetauscher und/oder in eine mit einer Sauerstoff-Transport-Membran arbeitende Sauerstofftrenneinrichtung oder wenn der Brenner seine Verbrennungsabgase unmittelbar in einen Wärmetauscher oder eine solche Sauerstofftrenneinrichtung einspeist, ergeben sich weitere Probleme, da der Betrieb derartiger Wärmetauscher bzw. Sauerstofftrenneinrichtungen nur dann im Hinblick auf Wärmeübertragung und thermische Belastung optimal ist, wenn eine möglichst gleichmässige Temperaturverteilung erreicht wird. Bei herkömmlichen Verbrennungsverfahren ergeben sich jedoch üblicherweise ungleichmässige Temperaturverteilungen.

[0007] Aus der EP 0 463 218 A1 ist ein Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einem Verbrennungsraum bekannt, bei dem Brennstoff mit vorzugsweise vorgewärmter Verbrennungsluft in Gegenwart von zurückgeführten Verbrennungsabgasen oxidiert wird. Bei der Verbrennung von Luft wird stets thermisches NO<sub>x</sub> gebildet, wobei mit zunehmender Flammentemperatur die NO<sub>x</sub>-Bildung stark zunimmt. Zur Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen schlägt das bekannte Verfahren vor, den Brennstoff mit extrem hoher Verbrennungsabgasrückführung im Wesentlichen flammenlos und pulsationsfrei zu oxidieren. Dies wird dadurch erreicht, dass Verbrennungsabgase, denen vorher aus dem System nach aussen abgeführte Nutzwärme entzogen wurde, mit der vorgewärmten Verbrennungsluft in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis grösser oder gleich 2 vermischt wird, wobei das Abgasrückführverhältnis als das Verhältnis der Massenströme des rückgeführten Verbrennungsabgases und der zugeführten Verbrennungsluft definiert ist, wobei dieses Abgas-Luft-Gemisch auf einer Temperatur gehalten wird, die höher liegt als die Zündtemperatur, und wobei das Abgas/Luft-Gemisch sodann mit dem Brennstoff unter Ausbildung einer Oxidationszone zusammengebracht wird, in der eine im Wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation in dem Verbrennungsraum stattfindet. Durch dieses bekannte Verfahren können die NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung von Luft schätzungsweise um einen Faktor 10 reduziert werden.

### Darstellung der Erfindung

[0008] Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für die Verbrennung von schwach reaktiven und stickstofffreien Gasgemischen zufriedenstellend funktionsfähige Möglichkeiten aufzuzeigen.

[0009] Dieses Problem wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen wiedergegeben.

[0010] Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, die zur Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen bekannte flammenlose Verbrennung zur Verbrennung eines stickstofffreien Gasgemischs zu verwenden. Es ist leicht erkennbar, dass die Anwendung eines zur Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen bekannten, mit flammenloser Verbrennung arbeitenden Verfahrens bei einem stickstofffrei und somit ohne  $\text{NO}_x$ -Emissionen arbeitenden Verbrennungsverfahren offensichtlich nicht verbessert werden kann. Die Erfindung nutzt nun die Erkenntnis, dass sich ein mit flammenloser Verbrennung arbeitendes Verbrennungsverfahren in besonderer Weise zur Verbrennung schwach reaktiver Gasgemische eignet. Durch die erfindungsgemässe Kopplung eines stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozesses mit einem flammenlos arbeitenden Verbrennungsprozess kann die Leistungsfähigkeit des stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozesses deutlich verbessert werden, wenn ein schwach reaktives Gasgemisch verbrannt werden soll, insbesondere wenn der Sauerstoff des zu verbrennenden Gasgemischs mit Hilfe einer Sauerstoff-Transport-Membran bei grösserer Spülgasmenge gewonnen wird. Durch die Erfindung wird ein Synergieeffekt erreicht, der so nicht zu erwarten war, da das bekannte mit flammenloser Verbrennung arbeitende Verbrennungsverfahren ausdrücklich zur Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen dient, die es aber bei einem stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsverfahren, von dem die Erfindung ausgeht, gar nicht gibt. Insoweit nutzt die vorliegende Erfindung das mit flammenloser Verbrennung arbeitende Verbrennungsverfahren zu einem anderen Zweck. Denn durch die Verwendung der flammenlosen Verbrennung wird bei einem stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozess eine zuverlässige und stabile Verbrennung eines schwach reaktiven Gasgemisches ermöglicht.

[0011] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Referenzzeichen auf gleiche oder funktional gleiche oder ähnliche Merkmale beziehen. Es zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1 eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung,

Fig. 2 eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung eines Brenners für eine Vorrichtung gemäss Fig. 1 und

Fig. 3 eine Ansicht wie in Fig. 2, jedoch bei einer anderen Ausführungsform.

### Wege zur Ausführung der Erfindung

[0013] Entsprechend Fig. 1 besitzt eine erfindungsgemässe Vorrichtung oder Anlage 1 eine Gemischbildungseinrichtung 2 sowie einen Brenner 3. Die Gemischbildungseinrichtung 2 umfasst eine Sauerstofftrenneinrichtung 4, die mit einer Sauerstoff-Transport-Membran 5 ausgestattet ist. Die Membran 5 besitzt entsprechend Fig. 1 oben eine Sperrseite 6 und entsprechend Fig. 1 unten eine Durchgangsseite 7. Auf der Sperrseite 6 wird der Membran 5 ein sauerstoffhaltiges Gas  $A_1$ , z.B. Luft, zugeführt. An der Membran 5 erfolgt dann entsprechend einem Pfeil 8 ein Transport von Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), der von der Sperrseite 6 der Membran 5 entnommen und auf deren Durchgangsseite 7 transportiert wird. In der Sauerstofftrenneinrichtung 4 wird demnach der Sauerstoffgehalt des auf der Sperrseite 6 zugeführten Gases  $A_1$  reduziert; dementsprechend ist in Fig. 1 das in der Sauerstofftrenneinrichtung 4 befindliche Gas mit A gekennzeichnet. Aus der Sauerstofftrenneinrichtung 4 tritt dann bezüglich seines Sauerstoffgehalts reduziertes Gas  $A_2$  aus.

[0014] Um die Leistungsfähigkeit der Membran 5 zu steigern, wird deren Durchgangsseite 7 mit einem inerten Spülgas  $G_{\text{ER}}$  beaufschlagt, das den Sauerstoff aus der Sauerstofftrenneinrichtung 4 abtransportiert. Das Spülgas  $G_{\text{ER}}$  wird im vorliegenden Fall durch extern rückgeführtes Abgas gebildet, das nach dem Brenner 3 einem Abgasstrang 9 entnommen wird.

[0015] Zweckmässigerweise kann die Sauerstofftrenneinrichtung 4 ausserdem als Wärmetauscher ausgebildet sein. Auf diese Weise kann zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Sauerstofftrenneinrichtung 4 die Temperatur des zugeführten sauerstoffhaltigen Gases  $A_1$  erhöht werden.

[0016] Über eine Leitung 10 wird das mit Sauerstoff angereicherte, extern rückgeführte Abgas dem Brenner 3 zugeführt. Zum Antrieb dieses Gasgemischs aus Sauerstoff und extern rückgeführtem Abgas kann in der Leitung 10 eine Pumpe 11 oder Turbine oder Gebläse od. dgl. angeordnet sein.

[0017] Des Weiteren ist eine Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 vorgesehen, die sowohl einen Bestandteil der Gemischbildungseinrichtung 2 als auch des Brenners 3 bilden kann. Im vorliegenden Fall führt eine Brennstoffleitung 13 Brennstoff F

dem Brenner 3 zu. Wie bereits oben erwähnt, ist der Brenner 3 mit einer externen Abgasrückführung 14 ausgestattet, die über eine vom Abgasstrang 9 abzweigende Rückführungsleitung 15 einen Teil der Verbrennungsabgase nach dem Brenner 3 entnimmt und letztlich vor dem Brenner 3 wieder zumischt. Im hier gezeigten Fall dienen die extern rückgeführten Abgase  $G_{ER}$  zur Spülung der Membran 5. Des Weiteren ist der Brenner 3 hier mit einer internen Abgasrückführung 16 ausgestattet, bei der ein Teil der Abgase in einem in Fig. 1 nicht gezeigten Brennraum des Brenners 3 verbleibt. Diese mit  $G_{ER}$  bezeichneten, intern rückgeführten Abgase vermischen sich im Brennraum mit den anderen, dem Brenner 3 zugeführten Gaskomponenten, um so das gewünschte Gasgemisch auszubilden, das eine relativ hohe Abgasrückführungsrate (extern und/oder intern) aufweist. Die interne Abgasrückführung ist in Fig. 1 ausserdem durch Pfeile 17 symbolisiert.

**[0018]** Wie aus dem in Fig. 1 gezeigten Schema hervorgeht, arbeitet das mit der Anlage 1 durchführbare Verbrennungsverfahren ohne Stickstoff, so dass die vom Brenner 3 erzeugten Verbrennungsabgase keine oder nur noch parasitäre  $NO_x$ -Anteile enthalten, die aus dem Brennstoff stammen. Das abgeleitete Abgas  $G_s$  enthält im Wesentlichen nur  $CO_2$  und dampfförmiges Wasser ( $H_2O$ ).

**[0019]** Erfindungsgemäss ist der Brenner 3 zur Durchführung einer flammenlosen Verbrennung ausgebildet. Zu diesem Zweck ist die Gemischbildungseinrichtung 2 so ausgestaltet, dass sie zur Herstellung des zu verbrennenden Gasgemischs erst im Brenner 3 den Oxidator  $O_x$  zusammen mit den extern rückgeführten Abgasen  $G_{ER}$  und den Brennstoff  $F$  zusammenbringt. Des Weiteren wird durch ein entsprechendes Zusammenspiel der Gemischbildungseinrichtung 2 und des Brenners 3 gewährleistet, dass das fertiggestellte Gasgemisch, das sich bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform erst durch die Vermischung der intern rückgeführten Abgasmenge  $G_{IR}$  ausbildet, eine Temperatur aufweist, die oberhalb der Selbstentzündungstemperatur dieses Gasgemischs liegt. Unter diesen Voraussetzungen kann im Brenner 3 die gewünschte flammenlose Verbrennung realisiert werden. Von besonderem Vorteil ist hierbei, dass eine derartige flammenlose Verbrennung auch dann hinreichend stabil ablaufen kann, wenn das zu verbrennende Gasgemisch einen sehr niedrigen Sauerstoffgehalt, also eine sehr schwache Reaktivität aufweist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn zur Leistungssteigerung der Sauerstofftrenneinrichtung 4 eine relativ grosse Spülgasmenge zum Abtransport des Sauerstoffs, also eine relativ hohe externe Abgasrückführungsrate verwendet wird.

**[0020]** Dabei ist es durchaus möglich, dass die externe Abgasrückführungsrate so gross gewählt ist, dass auf eine interne Abgasrückführung mehr oder weniger verzichtet werden kann oder dass die interne Abgasrückführung sehr niedrig gehalten werden kann.

**[0021]** Es hat sich gezeigt, dass eine zuverlässige flammenlose Verbrennung realisierbar ist, wenn im Gasgemisch ein Volumenverhältnis von Inertgas, also extern rückgeführtes Abgas  $G_{ER}$  sowie intern rückgeführtes Abgas  $G_{IR}$ , zu Brennstoff  $F$  und Sauerstoff  $O_x$  grösser als 2, insbesondere grösser als 3, ist.

**[0022]** Entsprechend Fig. 2 kann der Brenner 3 entsprechend einer besondere Ausführungsform einen Vorbrennraum 18 und einen bezüglich einer durch einen Pfeil 19 symbolisierten Durchströmungsrichtung des Brenners 3 nachgeordneten Hauptbrennraum 20 aufweisen. Der Brenner 3 ist bezüglich einer Symmetrieachse 21 zweckmässig rotationssymmetrisch ausgebildet.

**[0023]** Die Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 ist bei der Ausführungsform gemäss Fig. 2 so ausgestaltet, dass erste Einspritzdüsen 22 im Vorbrennraum 18 eine Voreinspritzung von Brennstoff ermöglichen. Des Weiteren sind zweite Einspritzdüsen 23 vorgesehen, die im Hauptbrennraum 20 eine Haupteinspritzung von Brennstoff ermöglichen. Im Vorbrennraum 18 sind hier in Strömungsrichtung 19 hintereinander eine Mixeinrichtung 24, eine Katalysatoreinrichtung 25 und eine Verwirbelungseinrichtung 26 angeordnet.

**[0024]** Der Brenner 3 gemäss Fig. 2 arbeitet wie folgt:

**[0025]** Dem Vorbrennraum 18 wird Sauerstoff  $O_x$  zugeführt, der mehr oder weniger mit extern rückgeführtem Abgas  $G_{ER}$  verdünnt sein kann, so dass dann ein Sauerstoff-Abgas-Gemisch  $O_x + G_{ER}$  zugeführt wird. Über die ersten Einspritzdüsen 22 wird eine relativ kleine Brennstoffmenge eingespritzt. In der Mixeinrichtung 24 erfolgt eine intensive Durchmischung der einzelnen Komponenten. In der Katalysatoreinrichtung 25, die einen entsprechenden Katalysator enthält, erfolgt eine katalytisch initiierte oder stabilisierte Verbrennung des Brennstoffs  $F$ , wobei nur ein Teil der zugeführten Sauerstoffmenge verbraucht wird. Insbesondere ist es möglich, nur einen Teilstrom durch die Katalysatoreinrichtung 25 zu leiten, wodurch in diesem Teilstrom auch eine vollständige Verbrennung des Sauerstoffs realisierbar ist.

**[0026]** Durch die katalytische Verbrennung kann eine Temperaturerhöhung des dem Hauptbrennraum 20 zugeführten Gasgemischs erreicht werden. Durch die katalytische Verbrennung im Vorbrennraum 18 kann quasi intern die Abgasmenge und somit die Abgaskonzentration erhöht werden, wodurch es möglich ist, die extern rückgeführte Abgasmenge  $G_{ER}$  zu reduzieren. Da eine hohe externe Abgasrückführungsrate zu hohen Druckverlusten führt, die durch entsprechende Pumpleistung ausgeglichen werden müssen, kann durch die hier vorgeschlagene interne katalytische Abgaserzeugung der Gesamtwirkungsgrad des Turbinenprozesses verbessert werden.

**[0027]** Bei der Durchströmung der Verwirbelungseinrichtung 26 kann der Gasströmung ein gewünschtes Strömungs- bzw. Wirbelverhalten aufgezwungen werden. Im Hauptbrennraum 20 erfolgt dann über die zweiten Einspritzdüsen 23 die Zugabe weiteren Brennstoffs  $F$ , wobei sich dann das gewünschte Gasgemisch ausbildet, dessen Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur dieses Gasgemischs liegt. Je nach externer Abgasrückführungsrate kann für diese Gemischbildung eine interne Abgasrückführung erforderlich sein, die hier mittels geeigneter, aerodynamisch arbeitender Abgas-

leiteinrichtungen erzeugt werden kann. Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird durch eine Querschnittserweiterung 27 beim Übergang vom Vorbrennraum 18 in den Hauptbrennraum 20 eine solche Abgasleiteinrichtung gebildet, die eine durch einen Pfeil 28 symbolisierte ringförmige Wirbelwalze initiiert. Die so gebildete Abgasleiteinrichtung bewirkt durch den Wirbel 28 eine Rückströmung eines Teils der Abgase entgegen der Durchströmungsrichtung 19 des Brenners 3, so dass dieser Anteil der Abgase im Hauptbrennraum 20 verbleibt. Die in der Nähe der Symmetrieachse 21 dargestellte und mit 29 bezeichnete ringförmige Wirbelwalze kann beispielsweise durch die Verwirbelungseinrichtung 26, insbesondere in Verbindung mit der Querschnittserweiterung 27, initiiert werden. Auch diese Wirbelwalze 29 unterstützt die interne Abgasrückführung.

**[0028]** Durch eine geeignete Wahl der Strömungsgeschwindigkeiten, der Verwirbelungen und insbesondere der internen Abgasrückführung können relativ grosse Aufenthaltszeiten für das zu verbrennende Gas im Brenner 3 erreicht werden, wodurch eine vollständige Verbrennung des eingespritzten Brennstoffs gewährleistet werden kann.

**[0029]** Diese Rezirkulation aufgrund der Wirbel 28 und 29 unterstützt ausserdem die Vermischung der intern rückgeführten Abgase mit dem in den Hauptbrennraum 20 eingeleiteten Gasgemisch, wodurch beispielsweise auch eine Aufheizung der brennbaren Mischung sowie eine Stabilisierung der Reaktionen erzielbar ist. Dementsprechend ist die Katalysatoreinrichtung 25, die zu einer Temperaturerhöhung im Gemisch führt, nicht zwingend erforderlich, kann jedoch z.B. im Teillastbereich, hilfreich sein.

**[0030]** Entsprechend Fig. 3 kann bei einer besonderen Ausführungsform die Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 eine Lanze 30 aufweisen, die sich koaxial zur Symmetrieachse 21 erstreckt. Diese Lanze 30 weist dem Vorbrennraum 18 zugeordnete erste Einspritzdüsen 31 sowie dem Hauptbrennraum 20 zugeordnete zweite Einspritzdüsen 32 auf. Mit Hilfe einer derartigen Lanze 30 kann im Hauptbrennraum 20 eine besonders homogene Verteilung der eingespritzten Brennstoffmenge erreicht werden, wodurch die Ausbildung einer flammenlosen Verbrennung erleichtert wird.

**[0031]** Es ist klar, dass die Einspritzdüsen 22, 23, 31 und 32 vorzugsweise rotationssymmetrisch zur Symmetrieachse 21 verteilt angeordnet sind, wobei von jedem Düsentyp durchaus mehr als die zwei exemplarisch dargestellten Düsen vorgesehen sein können.

**[0032]** Durch die flammenlose Verbrennung im Hauptbrennraum 20 ergibt sich eine über den gesamten Hauptbrennraum 20 homogen verteilte Verbrennung, die pulsationsfrei abläuft. Die flammenlose Verbrennung erzeugt somit eine homogene Temperaturverteilung über den gesamten Hauptbrennraum 20, wodurch die Integration des Brenners 3 in einen Wärmetauscher und/oder in eine Sauerstofftrenneinrichtung 4 sowie ein unmittelbarer Anbau des Brenners 3 an einen Wärmetauscher und/oder an eine Sauerstofftrenneinrichtung 4 erheblich vereinfacht ist.

**[0033]** Da bei der flammenlosen Verbrennung eine einzelne Zündstelle innerhalb des Brennraums nicht mehr lokalisierbar ist, reduziert sich die Gefahr eines Flammenrückschlags.

**[0034]** Während bei den in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Ausführungsformen stets reiner Brennstoff in den Brenner 3 bzw. in den Hauptbrennraum 20 eingeleitet wird, kann bei einer anderen Ausführungsform zur Ausbildung des gewünschten Gasgemischs auch ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas, z.B. extern rückgeführtes Abgas, verwendet werden. Im Unterschied zu den dargestellten Ausführungsformen ist es ebenso möglich, anstelle eines Gemischs aus Sauerstoff und Inertgas, den Sauerstoff im Wesentlichen in Reinform dem Brenner 3 bzw. dem Hauptbrennraum 20 zuzuführen. Im Wesentlichen reiner Sauerstoff kann beispielsweise kryotechnisch hergestellt werden.

**[0035]** Bei einer Ausführungsform, bei der die Gemischbildungseinrichtung 2 im Wesentlichen reinen Sauerstoff in den Hauptbrennraum 20 einbringt, erfolgt dies zur Erzielung des gewünschten Gasgemischs an einer Stelle, in deren Nähe auch die Brennstoffeinspritzung stattfindet. Eine interne Abgasrückführung mit relativ hoher Rückführungsrate dient dann zur Ausbildung des gewünschten Gasgemischs.

**[0036]** Sofern reiner Sauerstoff zur Verfügung steht und in der Nähe der Brennstoffeindüsung in den Hauptbrennraum 20 eingeleitet wird, kann die flammenlose Verbrennungsreaktion aufgrund der lokal erhöhten Temperaturen relativ stabil initiiert werden. Insoweit kann bei einer solchen Ausführungsform die Katalysatoreinrichtung 25 entfallen.

**[0037]** Ebenso ist es möglich, Sauerstoff sowohl in den Vorbrennraum 18 als auch in den Hauptbrennraum 20 einzuleiten, wodurch einerseits eine katalytische Vorwärmung des zugeführten Gasgemischs erreichbar ist und andererseits eine stabilere flammenlose Verbrennung realisierbar ist. Die letztgenannte Ausführungsform ist insbesondere bei Teillast des Brenners 3 von Vorteil.

**[0038]** Es ist klar, dass die vom Brenner 3 erzeugten Abgase  $G_s$  beispielsweise in einer Gasturbinenanlage zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendbar sind.

## Patentansprüche

1. Verbrennungsverfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, bei dem ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Brennstoff und im Wesentlichen stickstofffreien Inertgas gebildet und in einem Brenner (3) verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennung als flammenlose Verbrennung ausgestaltet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Gasgemisch aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas in einem Brenner (3) verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, dass als Oxidator im Wesentlichen reiner Sauerstoff oder ein Gemisch aus im Wesentlichen reinen Sauerstoff und im Wesentlichen stickstofffreien Inertgas verwendet wird, und dass als Inertgas ein im Wesentlichen stickstofffreies Inertgas verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Gasgemischs oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des Gasgemischs liegt, wobei die Zumischung des Sauerstoffs oder eines Gemischs aus Sauerstoff und Inertgas und/oder die Zumischung des Brennstoffs oder eines Gemischs aus Brennstoff und Inertgas erst im Brenner (3) erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Inertgas ein Gemisch aus inerten Gasen ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Gasgemisch ein Volumenverhältnis von Inertgas zu Brennstoff und Sauerstoff grösser ist als 1,5, insbesondere 2,5.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Inertgas aus einem bei der Verbrennung des Gasgemischs entstehenden Abgas gebildet ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Zumischung des Abgases zum Sauerstoff und/oder zum Brennstoff durch eine interne Abgasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase in einem Brennraum (20) des Brenners (3) verbleibt, und/oder durch eine externe Abgasrückführung (14) erfolgt, bei der ein Teil der Abgase nach dem Brenner (3) entnommen und vor den Brenner (3) rückgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung des Gasgemischs kryotechnisch hergestellter, im Wesentlichen reiner Sauerstoff verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung des Gasgemischs ein Gemisch aus im Wesentlichen reinen Sauerstoff und Inertgas verwendet wird, das dadurch gebildet wird, dass eine Sauerstoff-Transport-Membran (5) aus einem an einer Sperrseite (6) der Membran (5) angeordneten sauerstoffhaltigen Gasgemisch (A1) Sauerstoff entnimmt und zu einer Durchgangseite (7) der Membran (5) transportiert, wo der Sauerstoff mit dem als Spülgas verwendeten Inertgas abgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung des Gasgemischs der Brennstoff oder ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas bezüglich einer Durchströmungsrichtung (19) des Brenners (3) an wenigstens zwei hintereinander angeordneten Stellen (22, 23; 31, 32) im Brenner (3) zugemischt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erhöhung der Gemischtemperatur im Brenner (3) und/oder zur Erhöhung des Abgasanteils im Gasgemisch vor einem Hauptbrennraum (20) eine katalytisch initiierte und/oder stabilisierte Vorverbrennung einer Teilmenge des Sauerstoffs und einer Teilmenge des Brennstoffs durchgeführt wird.
12. Anlage, insbesondere Gasturbinenanlage, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit einer Gemischbildungseinrichtung (2) zum Ausbilden eines im Wesentlichen stickstofffreien Gasgemischs aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas und mit einem zur Durchführung einer flammenlosen Verbrennung ausgebildeten Brenner (3), wobei die Gemischbildungseinrichtung (2) erst im Brenner (3) Sauerstoff und Brennstoff zusammenbringt, derart, dass das fertiggestellte Gasgemisch eine Temperatur aufweist, die oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des Gasgemischs liegt.
13. Anlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abgasrückführung (14, 16) vorgesehen ist und dass das Inertgas durch das bei der Verbrennung des Gasgemischs entstehende Abgas gebildet ist.
14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgasrückführung eine interne Abgasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase in einem Brennraum (20) des Brenners (3) verbleibt, und/oder eine externe Abgasrückführung (14), bei der ein Teil der Abgase nach dem Brenner (3) entnommen und vor dem Brenner (3) rückgeführt wird, umfasst.
15. Anlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die interne Abgasrückführung (16) eine Verwirbelungseinrichtung (26) aufweist, die eine Gasströmung aus Sauerstoff oder aus einem Gemisch aus Sauerstoff und Abgas vor oder bei ihrem Eintritt in einen Brennraum (20) des Brenners (3) verwirbelt.
16. Anlage nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die interne Abgasrückführung (16) in einem Brennraum (20) des Brenners (3) eine Abgasleiteneinrichtung, z.B. in Form einer Querschnittserweiterung (27), aufweist, die eine Rückströmung eines Teils der Abgase innerhalb des Brennraums (20) entgegen der Durchströmungsrichtung (19) des Brenners (3) bewirkt oder unterstützt.
17. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (12) vorgesehen ist, mit der Brennstoff sowohl in einen vorgeschalteten Vorbrennraum (18) des Brenners (3) als auch in einen nachgeschalteten Hauptbrennraum (20) des Brenners (3) einbringbar ist.
18. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffeinspritzeinrichtung (12) eine Lanze (30) aufweist, die sich zentrisch im Vorbrennraum (18) und im Hauptbrennraum (20) erstreckt und dem Vorbrennraum (18)

## CH 695 793 A5

zugeordnete Einspritzdüsen (31) sowie dem Hauptbrennraum (20) zugeordnete Einspritzdüsen (32) aufweist, durch die der Brennstoff in den Vorbrennraum (18) bzw. in den Hauptbrennraum (20) eingebracht wird.

19. Anlage nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass im Vorbrennraum (18) ein Katalysator oder eine einen Katalysator beinhaltende Katalysatoreinrichtung (25) angeordnet ist, durch den oder die in den Vorbrennraum (18) eingebrachter Brennstoff mit in den Vorbrennraum (18) eingebrachtem Sauerstoff zumindest teilweise verbrennt.
20. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Gemischbildungseinrichtung (2) eine Sauerstofftrenneinrichtung (4) mit einer Sauerstoff-Transport-Membran (5) aufweist, die aus einem an einer Sperrseite (6) der Membran (5) angeordneten sauerstoffhaltigen Gasgemisch Sauerstoff entnimmt und zu einer Durchgangsseite (7) der Membran (5) transportiert, wo der Sauerstoff mit einem Spülgas abgeführt wird, wobei als Spülgas das Abgas einer externen Abgasrückführung (14) verwendet wird.
21. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Gemischbildungseinrichtung (2) im Wesentlichen reinen Sauerstoff in einen Brennraum (20) des Brenners (3) in der Nähe einer Stelle einbringt, bei der der Brennstoff oder ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas in den Brennraum (20) eingebracht wird, wobei eine interne Abgasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase im Brennraum (20) verbleibt, das zur Ausbildung des Gasgemischs fehlende Inertgas liefert.
22. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, zum Verbrennen eines aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas gebildeten im Wesentlichen stickstofffreien Gasgemischs.

